CALCIUM-RETENTION UND EISCHALENSTABILITÄT BEI UNTERSCHIEDLICH MIT CALCIUM VERSORGTEN LEGEHENNEN

Jörn-Karl Villwock

1969

Aus dem Institut für
Tierzucht und Tierernährung
der
Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. Kurt Bronsch

Calcium-Retention und Eischalenstabilität bei unterschiedlich mit Calcium versorgten Legehennen

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Jörn-Karl Villwock
Tierarzt
aus Halle/Sa.

Berlin 1969
Journal-Nr. 651

Gedruckt mit Genehmigung
der Veterinärmedizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Dekan: Professor Dr. Kurt B r o n s c h
Referent: Professor Dr. Kurt B r o n s c h
Korreferent: Professor Dr. Hans H a r t w i g k

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der Promotion: 12. Februar 1969

MEINEN ELTERN GEWIDMET

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. LITERATUR	2
Eigene Untersuchungen	8
III. ARBEITSPLAN	8
IV. VERSUCHSTIERE UND METHODIK	10
A. Versuchstiere	10
B. Versuchsrationen	10
C. Aufbereitung der Proben	15
D. Analytik	16
E. Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse	17
V. ERGEBNISSE	18
A. Die Calcium-Retention bei Jung- und Legehennen aus Ca^{47} / Cr^{51} - markierten Rationen	18
B. Der Einbau von markiertem Nahrungs-Calcium in die Eischale	28
C. Eiqualitätsmerkmale nach Verfütterung von Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes	32
VI. DISKUSSION	36
A. Zur Methodik der Ca-Retentionsermittlung aus Ca^{47} -markierten Rationen	36
B. Zu den Ergebnissen der Ca-Retention	38
C. Zum Einbau von markiertem Nahrungs-Calcium in die Eischale	41
D. Zum Verhalten der Eischalenstabilität und zur Legeleistung der Versuchstiere	43
VII. ZUSAMMENFASSUNG	45
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	48

I. EINLEITUNG

Um bei der Erzeugung von Hühnereiern das genetisch fixierte Leistungsvermögen verschiedener Legerassen bei größtmöglicher Wirtschaftlichkeit quantitativ und qualitativ auszuschöpfen, müssen neben anderen optimalen Umweltbedingungen ausreichende Calcium-Mengen im Futter sichergestellt sein.

Die Ca-Versorgung von Legehennen richtet sich hauptsächlich nach deren Legeleistung sowie nach dem Verwertungsgrad des Nahrungscalciums, der bei fortgeschrittener Legetätigkeit allmählich abnimmt. Auf diese Weise kann es vor allem in der zweiten Hälfte der Legesaison bei gut produzierenden Hennen zu einem Ca-Defizit kommen, das sich bereits im Falle geringer Ausprägung negativ auf die Eischalenstabilität auswirkt, während es in stärkerem Ausmaß zur teilweisen Demineralisierung des Skletts sowie zur frühzeitigen Beendigung der Eiproduktion führt.

Da über die Ca-Verwertung bei Legehennen zu verschiedenen Alters- und Leistungsabschnitten noch nicht genügend experimentelle Daten vorliegen, hat mir Herr Professor Dr. K. BRONSCH die Aufgabe gestellt, die Ca-Retention und die Eischalenstabilität bei Hybridlegehennen im Verlauf eines Jahres mehrmals zu prüfen und zwar unter Verwendung einer Ca^{47}-markierten Versuchsration mit unterschiedlichen Mengen an Gesamtcalcium.

II. LITERATUR

In diesem Kapitel sollen Gesichtspunkte erörtert werden, die für einige Parameter des Calciumumsatzes der Legehennen unter besonderer Berücksichtigung der Eischalenmineralisation von Bedeutung sind.

Die Regulationsmechanismen des Calciumstoffwechsels und die in der Schalendrüse stattfindenden Vorgänge während der Mineralisierung der Eischalenmembranen bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt.

Verschiedene Publikationen, die auf die Methodik sowie die Ergebnisse einer quantitativen Erfassung der Calcium-Resorption und -Exkretion bei Legehennen eingehen, sind erst kürzlich von BRONSCH und Mitarbeitern(2,3), von KEHRER(14)sowie von LÖRCHER und BRONSCH (16)ausführlich besprochen worden, so daß auf eine erneute Zusammenstellung ebenfalls verzichtet werden kann.

Die Eischale enthält im Mittel 1,7 - 2,1 g Calcium, das während der 15 - 19 Stunden dauernder Schalenbildung in die organische Schalenmatrix eingebaut wird. Dieser Vorgang, der sich innerhalb einer Legeserie alle 25 - 30 Stunden wiederholt, findet bei einer Hybridhenne pro Legesaison insgesamt etwa 280 mal statt.

Der große und schnelle Ca-Umsatz einer Legehenne kann durch folgende Überschlagrechnung veranschaulicht werden: bei einer Legeleistung von 85 % und einem Ca-Gehalt pro Eischale von 2 g scheidet eine Hybridhenne die Menge ihres körpereigenen Ca-Bestandes in Höhe von 17 g alle 10 Tage in Form von Eischalencalcium aus.

In der Hauptphase der Schalenmineralisation werden dem Blutplasma etwa 100 mg Calcium pro Stunde entzogen. In Anbetracht dessen, daß eine 2 kg schwere Henne ein Plasmavolumen von rund 100 ml (23) mit einem Gesamt-Ca-Gehalt von etwa 25 mg hat, ist demnach während der

15 stündigen Schalenmineralisation das Gesamtcalcium alle 15 Minuten einmal umzusetzen (8).

Das im Blutplasma ionisiert vorliegende oder an Eiweiße gebundene Calcium reicht also für die Bildung auch nur einer Eischale bei weitem nicht aus; dem Plasma fällt vielmehr die Funktion zu, den Transport des zur Eischalenmineralisation benötigten Calciums zu bewerkstelligen. Dabei wird das durch die Schalendrüse entzogene Plasmacalcium ständig, wenngleich auch nicht vollständig, durch resorbiertes Nahrungscalcium bzw. mobilisiertes Skelettcalcium ersetzt.

Aus Untersuchungen von HERTELENDY und TAYLOR(8) geht hervor, daß bei Legehennen, die mit 2 % Ca in der Ration gefüttert wurden, der Gesamtcalciumgehalt im Plasma während der Eischalenformation signifikant um 4 - 5 mg/ 100 ml erniedrigt war. Diese Verminderung der Plasmacalciumkonzentration wird als auslösender Faktor für die Ca-Mobilisation aus dem Skelett angesehen (4).

Durch eine Reduzierung der Ca-Exkretion über die Nieren während der Schalenbildung kann, wie TAYLOR und KIRKLEY(26) experimentell an kolostomierten Hennen feststellten, die Ca-Bilanz um etwa 100 mg verbessert werden. Auch MUELLER und Mitarb. (18) stellten mit Hilfe der Isotopenverdünnungsmethode fest, daß die vorwiegend über die Nieren erfolgende endogene Ca-Ausscheidung bei Hennen, die täglich 2,32 g Ca aufnahmen, sich an Legetagen nur um 120 mg Ca pro Tier und Tag verringerte.

Es stellt sich zwangsläufig die Frage, wie eine Hybridlegehenne den für eine hohe Legeleistung erforderlichen Ca-Bedarf decken kann.

1. Zum Ca-Stoffwechsel bei Legehennen, deren Futter einen Ca-Gehalt von ca. 2 % und darunter aufweist

Bei Legehennen, deren tägliche Ca-Aufnahme mit dem Futter um

oder unter 2 g Calcium betrug, sind an Legetagen häufig negative Ca-Bilanzen festgestellt worden (5, 17).

TAYLOR(25)hat nachgewiesen, daß während der Eischalenmineralisation der Entzug von Calcium durch den Uterus die Ca-Retention übersteigt, so daß die Hennen auf die Ca-Reserven im Skelett zurückgreifen müssen.

Dieselbe Schlußfolgerung ergibt sich aus dem vorher erwähnten Experiment von MUELLER und Mitarb. (18), die bei Legehennen an Tagen mit Eiablage eine negative Ca-Bilanz in Höhe von 440 mg ermittelten.

Die Bedeutung des Skeletts als Ca-Quelle für die Eischalencalcifizierung ist seit langem bekannt (1, 22).

Kurz vor Beginn der Legetätigkeit werden bei vielen Vogelarten die Markhöhlen des Knochensystems ossifiziert. Dem so entstandenen neu gebildeten Knochengewebe - im angelsächsischen Schrifttum seit KYES und POTTER (15) als "medullary bone" bezeichnet - kommt keine Stützfunktion zu; vielmehr dient es als mineralischer Speicher, dessen Inhalt bei nicht ausreichend mit Calcium versorgten Legehennen (negative Ca-Bilanz) rasch mobilisiert und zur Eischalenmineralisation verwendet werden kann. Wenn die Hennen wieder eine ausgeglichene Ca-Bilanz erreichen sollen, muß jedoch das aus dem Skelett entnommene Calcium ersetzt werden, wenn keine Schalenbildung stattfindet. Dies bedeutet, daß bei regelmäßig legenden Hennen, die mit etwa 2 % Ca in der Ration versorgt werden, der Ca-Resorptions-Koeffizient sowohl an Legetagen als auch an Tagen ohne Eiproduktion fast den gleichen, größtmöglichen Wert zwischen 0,7 und 0,8 erreichen muß, was durch die Befunde von MUELLER und Mitarb. (18) experimentell bestätigt werden konnte: an Legetagen betrug die Ca-Resorption 78 %, an Tagen ohne Eiablage 76 % der Ca-Aufnahme in Höhe von 2,32 g.

Kann eine Legehenne den ihrem Leistungsstatus entsprechenden Ca-Bedarf nicht decken, obwohl die prozentuale Ca-Resorption das Maximum erreicht hat, werden bei zunächst gleicher Legefrequenz die Eischalen schlechter mineralisiert, um das Ca-Defizit möglichst gering zu halten (9).

Bei starkem Ca-Mangel mit unter 0,8 % Ca in der Ration ist die Henne gezwungen, nahezu das gesamte für die Eischalenformation benötigte Calcium dem Skelett zu entziehen. Sind im Höchstfall etwa 30 % des Skelett-Ca mobilisiert, was für die Produktion von 4 - 5 Eischalen mit abnehmendem Ca-Gehalt ausreicht, schützt sich der Organismus vor weiterer Ca-Verarmung durch Einstellen der Legetätigkeit (13, 24).

2. Zum Ca-Stoffwechsel bei Legehennen, deren Futter einen Ca-Gehalt von 3 % und darüber aufweist

Über den Umfang der Ca-Resorption und -Exkretion bei einer täglichen Ca-Aufnahme der Henne von etwa 3 g geben die von HURWITZ und GRIMINGER (10) mitgeteilten Bilanzdaten in Tabelle 1 Auskunft:

Tabelle 1

Gesamtcalcium-Bilanz an kolostomierten Hennen nach HURWITZ und GRIMINGER (10)

Parameter	g / Henne / Tag
Ca-Einnahme	3,00
Ca-Exkretion, Faeces	0,95
Ca-Exkretion, Harn	0,22
Ca-Einbaurate i. d. Eischale	1,75
Ca-Resorption	2,05
Ca-Retention	1,85
Ca-Bilanz	0,08

Wie aus Tab. 1 hervorgeht, hatten produzierende Hennen, deren Ration einen Ca-Gehalt von ca. 3 % aufwies, auch an Legetagen eine ausgeglichene Ca-Bilanz.

Anhand eines anderen Experimentes, in dem das kinetische Verhalten von Ca^{45} im Organismus der Legehenne untersucht wurde, konnte HURWITZ (11) nachweisen, daß sich im Bereich des Skeletts auch während der Eischalenbildung Ca-Einbau und Mobilisation die Waage hielten, wenn das Futter eine Ca-Konzentration zwischen 3,5 - 4,0 % hatte.

Treten - wie aus diesen Untersuchungen hervorgeht - innerhalb des Legezyklus keine Netto-Veränderungen im Ca-Gehalt des Skeletts auf, was einer ausgeglichenen Ca-Bilanz gleichkommt, deckt eine ausreichend mit Calcium versorgte Henne ihren Ca-Bedarf in der Phase der Eischalenmineralisation via erhöhte Ca-Resorption.

Mit Hilfe eines radiosignierten unresorbierbaren Indikators (Yttrium^{91}), der einer 3,56 % Ca enthaltenden Versuchsdiät beigegeben wurde, ermittelten HURWITZ und BAR (12) in einem weiteren Versuch über den Vergleich der Quotienten Ca/Y^{91} im Futter und im Darminhalt für 16 Monate alte Leger Ca-Resorptionsdaten in Höhe von 68 - 72 % im Zeitabschnitt der Schalencalcifizierung.

In neueren Untersuchungen von TAYLOR und KIRKLEY (26) wird ebenfalls über eine erhöhte Ca-Resorption an Legetagen berichtet.

Diese Daten entsprechen Ca-Retentionswerten, die BRONSCH und Mitarb. (2) innerhalb des Legezyklus einer Henne ermittelten. Durch fraktionierte Kotprobenentnahme konnten die Autoren die Exkretion bzw. Retention von Ca^{45}-markiertem Nahrungscalcium mit Hilfe des unresorbierbaren Indikators TiO_2 in noch kürzeren, vom jeweiligen Verkalkungsgrad der Eischalenmatrix abhängigen

Phasen verfolgen. Hiernach betrug die Ca-Retention bei einer 12 Monate alten Henne (3 % Ca in der Ration) während der intensiven Schalenmineralisation sogar 80 %. Vom Zeitpunkt der Eiablage bis zur 7. Stunde danach sank sie auf 20 % ab, um danach wieder auf die alte Höhe zu steigen.

Zusammenfassend ist nach den bisherigen Ausführungen festzustellen, daß im Skelett von Hennen, deren Ration 3 % Ca und mehr enthält, während der Eischalenmineralisation die Ca-Mobilisationsrate nicht größer ist als die Ca-Einbaurate, wie dies bei mit nur 2 % Ca im Futter versorgten Tieren der Fall ist.

HURWITZ(12) berechnete Ca-Resorptionsraten während der Eischalenformation von 104 mg bei Hennen mit 3,56 % Ca im Futter bzw. von 58 mg pro Stunde bei Tieren, deren Ration einen Ca-Gehalt von 1,9 % aufwies.

Veranschlagt man den Ca-Entzug durch die Schalendrüse mit 100 mg/ Stunde, so beträgt der Ca-Verlust im Skelett in diesem Zeitraum etwa 40 mg bzw. pro Eischale 600 mg bei niedriger Ca-Dosierung im Futter.

Dieses Ca-Defizit ist in Zeitabschnitten ohne Schalencalcifizierung zu ersetzen, wenn die Leger wieder in eine ausgeglichene Ca-Bilanz kommen sollen.

Ob das bei ausreichend mit Nahrungs-Calcium versorgten Legehennen in der Phase der Eischalenproduktion resorbierte Calcium direkt in die Schale eingebaut wird oder erst am Umsatz des mobilisierbaren Skelett-Ca teilnimmt - ohne dieses mengenmäßig zu verändern -, ist für praktische Belange ohne Bedeutung.

Entscheidend für die Aufstellung optimaler Ca-Bedarfsnormen ist jedoch, daß eine dem Furktionszustand der Schalendrüse angepaßte Ca-Resorptionsrate bei etwa mit 3 % Ca versorgten Tieren diese vor einem allmählichen Absinken ihrer Ca-Bilanz zu bewahren scheint und somit das Leistungsvermögen der Legehennen weniger gefährdet wird, als wenn das Futter nur etwa 2 % Ca enthält.

EIGENE VERSUCHE

III. ARBEITSPLAN

Wie im Kapitel "Literatur" erörtert, ist die Ca-Resorption bei Legehennen durch eine Höhe von maximal 70 - 80 % limitiert (2, 12, 18).

Dieser Tatsache Rechnung tragend muß der Ca-Gehalt einer Legehennenration so hoch sein, daß die Tiere insbesondere in der Phase der intensiven Eischalenmineralisation ihrem Bedarf entsprechend Calcium resorbieren können.

Die Ermittlung der Ca-Resorption ist beim Geflügel mit erheblichen methodischen Schwierigkeiten verbunden, da im Kloakenexkret sowohl Kot als auch Harn enthalten sind. Aus diesem Grunde soll als Kriterium für die Verwertung des Calciums im Futter die Ca-Retention bestimmt werden, die um etwa 10 % niedriger zu veranschlagen ist als die Ca-Resorption.

Da die bisherigen Kenntnisse über die Ca-Retention in Abhängigkeit vom Alter und Leistungsstatus der Legehenne noch nicht befriedigen, stellten wir uns die Aufgabe, die Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Probemahlzeiten bei ein und demselben Tiermaterial im Verlauf einer Legesaison mehrmals zu prüfen.

Die Versuche sollen an 60 HNL-Linienhybridhennen - unterteilt in 3 Gruppen - mit niedrigem (Gruppe I), mittlerem (Gruppe II) und hohem Ca-Gehalt (Gruppe III) in der Ration durchgeführt werden.

Die Basalration ist bei optimalem Gehalt an Nähr- und Baustoffen aus möglichst Ca-armen Komponenten zusammenzusetzen, damit die gewünschten Ca-Konzentrationen in den fertigen Versuchsdiäten durch Supplementation mit $CaCO_3$ eingestellt werden können.

Es ist beabsichtigt, die Ca-Retention 14 Tage vor Einsetzen der Legetätigkeit sowie bei beginnender Eiproduktion zu ermitteln, wobei der Ca-Gehalt des Futters in den einzelnen Gruppen 0,5/ 1,0 bzw. 2,0 % betragen soll.

Wenn etwa 10 % der Versuchstiere legen, erfolgt eine Futterumstellung auf Legehennenrationen, die Ca-Dosierungen von 2,0/ 3,0 bzw. 4,0 % aufweisen.

Sobald sich die Tiere im 3. bzw. 10 Legemonat befinden, ist die Ca-Retention erneut zu prüfen. Hierbei wird wie in den ersten beiden Versuchen das Calciumcarbonat durch Ca^{47}-markiertes $CaCO_3$ ersetzt. Zusätzlich soll dem Ca^{47}-signierten Futter, das den Tieren über etwa 10 Stunden angeboten wird, ein unresorbierbarer Indikator beigegeben werden. Aus methodischen Gründen verwenden wir hierzu Cr^{51}-markiertes Chromoxyd.

Nach vollständiger Darmpassage der doppeltsignierten Probemahlzeit läßt sich der Ca-Retentionskoeffizient aus dem Vergleich der Quotienten Ca^{47}/Cr^{51} im Futter und im Kot bestimmen.

Bei den produzierenden Hennen soll darüberhinaus der Anteil an markiertem Eischalencalcium ermittelt werden.

Es ist beabsichtigt, in 4 weiteren Versuchsperioden die Legeleistung der Tiere sowie die Eischalenstabilitätsmerkmale Bruchfestigkeit und Schalentrockengewicht zu prüfen.

IV. VERSUCHSTIERE UND METHODIK

A. Versuchstiere

Die Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlicher Calcium-Konzentrationen im Futter auf die Calcium-Retention und die Eischalenstabilität wurden an ein und demselben Tiermaterial in verschiedenen Entwicklungs- und Leistungsstadien durchgeführt. Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von insgesamt 12 Monaten.

Drei Wochen vor Beginn des ersten Versuchs wurden aus einer Population, die aus 280 gleichaltrigen Tieren bestand, 60 HNL-Linienhybriden von annähernd einheitlichem Gewicht ausgewählt und in Einzelkäfigen einer Legebatterie aufgestallt. Die Aufteilung der Tiere erfolgte dem Arbeitsplan entsprechend wie nachstehend beschrieben:

Es wurden 3 Hauptgruppen (I - III) mit je 20 Tieren gebildet. Jede Gruppe gliederte sich in 4 Untergruppen (A - D), bestehend aus jeweils 5 Tieren.

Im Versuch Nr. 3 setzten sich die Hauptgruppen aus je 16 Tieren mit 4 Tieren pro Untergruppe zusammen. An 4 weiteren Tieren jeder Hauptgruppe wurden Einzelmessungen vorgenommen, über die an anderer Stelle berichtet wird. Im Zeitraum zwischen Versuch 3 und 4 hatte sich die Zahl der Versuchstiere durch Abgänge verkleinert. Angaben über die Anzahl und das Alter der Tiere sowie weitere Daten zur Versuchsanordnung sind aus der Tabelle 2 zu entnehmen.

B. Versuchsrationen

Die Zusammenstellung der Basalration - für alle Gruppen von gleicher Provenienz - erfolgte mit Ca-armen Komponenten, um den Anteil des zu supplementierenden anorganisch gebundenen Calciums

Tabelle 2

Anzahl, Alter der Hennen sowie Klima und Beleuchtungsprogramm des Stalles

Tiere				Stall		
	Anzahl	Alter	Legemonat	Mittl. Tages-Temperat. (°C)	relat. Luftfeuchtigkeit (%)	tägliche Beleucht.-dauer (Stunden)
Versuch	Retentions - Versuche					
Nr. 1	60	17 Wo.	-	17,0 - 17,9	60 - 78	10 1/2
Nr. 2	60	19 Wo.	Eintritt d. Legereife	13,0 - 14,2	65 - 75	10 1/2
Nr. 3	48	8 Mon.	3.	12,5 - 13,5	62 - 70	16
Nr. 4	55	15 Mon.	10.	18,8 - 19,2	68 - 82	20
Periode	Erfassung des Eigewichtes und der -Schalenstabilität					
1	59	11 Mon.	6.	12,5 - 14,8	64 - 76	18
2	57	12 Mon.	7.	13,0 - 15,5	65 - 75	19
3	56	14 Mon.	9.	17,3 - 18,8	68 - 80	20
4	55	15 Mon.	10.	18,9 - 19,5	72 - 84	20

möglichst hoch zu halten. Dabei fand Beachtung, daß die übrigen Nähr- und Baustoffe nicht defizitär waren.

Bis zu einem Alter von 20 Wochen war für die Tiere - ihrem Entwicklungsstand entsprechend - eine Basaldiät auf Mais - Milocorn - Basis vorgesehen, die nach folgender Rezeptur in der institutseigenen Mischanlage angefertigt wurde:

45,0 %	Mais
27,0 %	Milocorn
13,0 %	Gerste
5,0 %	Sojaschrot (45 %ig)
3,0 %	Luzernegrünmehl
3,0 %	Casein
3,0 %	Futterhefe
0,5 %	Spurenelemente-Mischung S 59
0,5 %	Vitamin-Vormischung für Junghennen
100,0 %	

Die verwendete Vitamin-Vormischung enthielt je Gramm folgende an Weizenbollmehl gebundene Vitaminmengen:

1600 I.E. Vitamin A, 200 I.E. Vitamin D_3, 1 mg Vitamin E, 640 mcg Vitamin B_2.

Analytisch wurden in der ursprünglichen Substanz dieser Diät unter anderem folgende Inhaltsstoffe ermittelt:

14,70 %	Rohprotein
3,01 %	Rohfett
3,70 %	Rohfaser
0,38 %	Calcium
0,49 %	Phosphor

Rechnerisch ergab sich eine produktive Energie von 1986 Kcal/kg.

Eine Supplementation der Basaldiät mit $CaCO_3$ erfolgte in der Weise, daß die definitiven Junghennenrationen folgende analytisch nachgeprüfte Calcium-Gehalte aufwiesen:

Ration der Gruppe I : 0,49 %
Ration der Gruppe II : 1,09 %
Ration der Gruppe III : 2,10 %

Durch Einmischen von $Na_2HPO_4 \cdot 2\ H_2O$ wurde der Phosphorgehalt der Rationen auf einheitlich 0,6 % eingestellt.

Als 10 % der Versuchstiere legten - in der 21. Lebenswoche -,fand eine Futterumstellung auf ein Legehennenfutter statt, dessen Grundmischung folgender Provenienz war:

50,0 %	Mais
20,0 %	Milocorn
10,0 %	Sojaschrot (45 %ig)
10,0 %	Magermilchpulver
3,0 %	Luzernegrünmehl
3,0 %	Futterhefe
3,0 %	Casein
0,5 %	Spurenelemente-Mischung S 59
0,5 %	Vitamin-Vormischung für Legehennen
100,0 %	

Die hier verwendete Vitamin-Vormischung enthielt je Gramm folgende an Weizenbollmehl gebundene Vitaminmengen:

3200 I.E. Vitamin A, 400 I. E. Vitamin D_3, 2 mg Vitamin E, 1,28 mg Vitamin B_2, 1,8 mg Pantothensäure, 0,004 mg Vitamin B_{12} und 0,8 mg Vitamin K_3.

Die chemische Analyse dieser Mischung - wiederum auf ursprüngliche Substanz bezogen - ergab:

18,90 %	Rohprotein
2,90 %	Rohfett
2,90 %	Rohfaser
0,39 %	Calcium
0,54 %	Phosphor

Errechnet wurde eine produktive Energie von 2080 Kcal/kg. Zur Einstellung der verschiedenen Calcium-Konzentrationen wurde auch hier $CaCO_3$ verwendet, so daß die fertigen Rationen folgende Calcium-Gehalte [x] aufwiesen:

Ration der Gruppe I	:	2,02 %
Ration der Gruppe II	:	3,03 %
Ration der Gruppe III	:	4,05 %

Nach Phosphatzusatz in Form von $Na_2HPO_4 \cdot 2\ H_2O$ hatten die 3 Rationen einheitlich einen P - Gehalt von 0,7 %.

Die Junghennen- bzw. Legehennendiäten wurden den Tieren als mehliges Alleinfutter ad libitum angeboten; desgleichen war in einer Durchlauftränke ständig frisches Wasser vorhanden.

Zur Zeit der Retentionsversuche Nr. 1 bis 4 erhielten die Tiere die oben angeführten Rationen, in die jedoch anstelle von inaktivem $CaCO_3$ Calcium - 47 - markiertes Calciumcarbonat [xx] in einer Menge von 10 - 20 µCi Ca^{47}/kg Futter eingemischt wurde.

Weiterhin wurde den Ca^{47}-markierten Versuchsrationen Chrom^{51} in Form von Chromoxyd [xxx] als ein aus dem Intestinum nicht resorbierbarer Indikator in einer Aktivität von 35 - 150 µCi Cr^{51}/kg Futter beigegeben.

x) Die in den Versuchsperioden 1 bis 4 (Eiqualitätsmessungen) verwendeten Rationen hatten abweichend folgende Ca-Gehalte: Gruppe I: 2,06 %, Gruppe II: 3,03 %, Gruppe III: 4,08 %.

xx) Die Präparation des $Ca^{47}CO_3$ erfolgte aus $Ca^{47}Cl_2$, das in wässriger Lösung vom Radiochemical Centre, Amersham/ England bezogen wurde.

xxx) $Cr_2{}^{51}O_3$ wurde vom Hahn-Meitner-Institut/ Berlin zur Verfügung gestellt.

Von den doppelt markierten Rationen wurden pro Tier 120 g über einen Zeitraum von 10 1/2 Stunden verabreicht.

Die Ermittlung des Futterverzehrs erfolgt durch Rückwiegen des nicht aufgenommenen Futters getrennt für jede Untergruppe. Im Anschluß an die Probemahlzeit nahmen die Tiere wieder das inaktive Futter auf.

C. Aufbereitung der Proben

1. Kot

Zur Zeit der Retentionsexperimente wurde das Kloakenexkret der Tiere - bestehend aus Rektum- und Blinddarmkot sowie Harn - im weiteren kurz als Kot bezeichnet - jeder Untergruppe (4 - 5 Tiere) auf auswechselbaren Plastikfolien quantitativ aufgefangen. Das Sammeln der Kotproben erfolgte bis zur 55. Stunde nach Beginn der Fütterung mit der markierten Mahlzeit. Damit war garantiert, daß die Magen-Darm-Passage der Probemahlzeiten vollkommen abgeschlossen war.

Der angefallene Kot wurde als Sammelprobe unter Zugabe von Aqua dest. homogenisiert. Ein Teil des Homogenats wurde in einem Umlauftrockner bei 105°C vorgetrocknet und im Anschluß daran im Muffelofen bei einer Temperatur von 600°C vollkommen verascht. Reagenzgläser wurden mit aliquoten Mengen Asche beschickt und die darin enthaltenen Ca^{47}- und Cr^{51}-Aktivitäten unter Wahrung einer konstanten Geometrie gammaspektrometrisch gemessen.

2. Eier

a) Ca^{47}-Versuche

Die während der Experimente angefallenen Eier wurden bis zur 72. Stunde nach Beginn der Probemahlzeit gesammelt und gekennzeichnet. Eiklar und Eidotter jedes Eies wurden durch Auswaschen verworfen und die Eischale bei einer Temperatur von 105°C getrocknet. Nach Bestimmung ihres Trockengewichtes wurde die Schale

in einer Mörsermühle zerkleinert. Von diesem Material wurden 0,5 g mit einer Analysenwaage ausgewogen, in ein Reagenzglas überführt und die in den Proben enthaltenen Ca^{47}-Aktivitäten mit Hilfe eines Autogamma-Spektrometers erfaßt.

b) Erfassung des Eigewichtes und der -Schalenstabilität
Von allen Tieren sämtlicher Gruppen wurden im Zeitraum zwischen den Ca^{47}-Retentionsversuchen Nr. 3 und 4 (Tab. 1) in 4 Testperioden über eine Dauer von jeweils 10 Tagen folgende Eiqualitätsmerkmale erfaßt:

Eifrischgewicht, Eischalen-Bruchfestigkeit und -Trockengewicht.

Das Eifrischgewicht wurde innerhalb von 24 Stunden nach dem Legen ermittelt. Die Eischalen-Stabilitätsmerkmale, Bruchfestigkeit und Schalentrockengewicht wurden nach den von RAUCH (19,20) angegebenen Verfahren bestimmt.

Die Bruchfestigkeit ermittelten wir unter Verwendung eines von der Fa. Fabian, München, nach Angaben von RAUCH hergestellten Meßapparates, das Schalentrockengewicht durch Wägung der Eischale nach 12 stündiger Trocknung bei 105°C.

3. Futter

Von den radioaktiv markierten Diäten wurde je 1,0 g ursprüngliche Substanz auf ihren Gehalt an Ca^{47} und Cr^{51} γ-spektrometrisch analysiert.

D. Analytik

Der Zerfall des künstlichen Radioisotops Calcium^{47} erfolgt unter Emission von Betakorpuskeln bei einhergehender Aussendung von γ-Quanten zu seinem Tochternuklid Scandium^{47}, das ebenfalls γ-Strahlen emittiert. Die Halbwertzeit (HWZ) des Ca^{47} beträgt 4,7 Tage (d), die des Sc^{47} 3,4 d.

Die 1,31 MeV γ-Strahlung des in den Proben (Kot, Eischale, Futter) enthaltenen Ca^{47} wurde unter Verwendung eines Autogamma-Meßplatzes (Modell 5018/ 5020/ 5052) gekoppelt mit einem Tri-Carb-Scintillationsspektrometer (Modell 4312) - beide Packard Instrument GmbH - gemessen. Der Kanal zur Erfassung dieser Strahlung war so eingestellt, daß die γ-Energie (0,16 MeV) des beim Zerfall von Ca^{47} entstehenden Tochternuklids Sc^{47} ausgeblendet wurde. Die Messung erfolgte unter Verstärkung von 10 % und einer Fenstereinstellung des Meßkanals von 360 - 1000 Teilstrichen. Von dem in den Proben enthaltenen Cr^{51} erschien in diesem Kanal keine Aktivität.

Chrom^{51} (HWZ = 27,8 d) zerfällt unter Elektroneneinfang und damit eingehender γ-Strahlung (0,323 MeV). Mit Hilfe der oben beschriebenen Apparatur wurde diese Strahlung simultan in einem anderen Meßkanal bei einer Verstärkung von 20 % und einer Einstellung der Diskriminatoren von 307 - 345 Teilstrichen gemessen. Dabei erschienen in diesem Kanal im Mittel 10 % der Ca^{47}-Impulse, die im Ca^{47}-Kanal gemessen wurden. Die Cr^{51}-Impulse wurden auf dem Differenzwege entsprechend korrigiert. Die Meßdaten wurden auf einen identischen Ca^{47}- bzw. Cr^{51}- Standard von bekannter Aktivität bezogen.

E. Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

Nachdem aus den Meßdaten für die einzelnen Kriterien Mittelwerte ($\bar{x}$) mit ihren Standardabweichungen (s) berechnet worden waren, erfolgten die biostatistischen Signifikanzprüfungen von Differenzen zwischen den jeweiligen Gruppenmitteln nach dem bei SCHMIDT (21) ausführlich beschriebenen t-Test.

V. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der im Kapitel "Methodik" beschriebenen Untersuchungen werden unterteilt in einzelne Abschnitte, nachstehend dargestellt:

A. Die Calcium-Retention bei Jung- und Legehennen aus Ca^{47}/Cr^{51}-markierten Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Ermittlung der Ca-Retention in Abhängigkeit von dem jeweiligen Entwicklungs- und Leistungsstand der Tiere sowie dem Ca-Gehalt der Ration sind zusammen mit weiteren Versuchsdaten in den Tabellen 3 bis 6 dargestellt.

Die Ca^{47}-Retention ist durch folgende Beziehungen definiert:

Ca^{47}-Retention = Ca^{47}-Einnahme minus Ca^{47}-Exkretion

Durch Doppelmarkierung der Ration mit dem unresorbierbaren Indikator $Cr_2{}^{51}O_3$ läßt sich über eine vereinfachte Bilanz der prozentuale Anteil des exkretierten Ca^{47} vom eingenommenen Radio-Calcium ohne quantitative Erfassung der Futtereinnahme und der Faecesausscheidung durch Vergleich der Quotienten Ca^{47}-Aktivität : Cr^{51}-Aktivität des Futters und Faeces errechnen:

$$Ca^{47}\text{-Exkretion in \%} = \frac{a}{b} : \frac{c}{d} \times 100$$

Hierbei bedeuten:

a = Ca^{47}-Aktivität (Ipm)[x] in den Faeces
b = Cr^{51}-Aktivität (Ipm) in den Faeces
c = Ca^{47}-Aktivität (Ipm) im Futter
d = Cr^{51}-Aktivität (Ipm) im Futter

x) Ipm = Impulse pro Minute

Am Beispiel der Untergruppe II B (Versuch Nr. 3, Tabelle 5) sollen der Rechengang zur Bestimmung der Ca-Retention in % der Ca-Einnahme sowie die Berechnung der absoluten Ca-Retention pro Tier demonstriert werden.

Bei der γ-spektrometrischen Messung der Faeces- und Futterproben der Untergruppe II B wurden folgende Werte ermittelt:

a = 2607 Ipm
b = 14822 Ipm
c = 8230 Ipm
d = 18720 Ipm

Die prozentuale Ca^{47}-Exkretion beträgt demnach

$$x = \frac{2607}{14822} : \frac{8230}{18720} \times 100\ \% = 40\ \%$$

Folglich wurden (Ca^{47}-Einnahme gleich 100 gesetzt)
100 - 40 = 60 % des von der signierten Mahlzeit aufgenommenen Ca^{47} retiniert.

Da sich stabiles und instabiles Calcium in ihrem Stoffwechselverhalten nicht unterscheiden und wir annehmen, daß das organisch gebundene Ca der Basaldiät (0,39 %) in gleichem Umfang absorbiert wird wie das supplementierte $CaCO_3$, haben wir somit ein Maß für die Gesamtcalcium-Retention.

Die Höhe der prozentualen Ca-Retentionsrate ist abhängig von der Menge des von den Tieren aufgenommenen Ca. Daher erfaßten wir in allen Versuchen den Futterverzehr der Tiere, um die absolute Ca-Retention ausdrücken zu können.

Aus der signierten Mahlzeit nahmen die Hennen der Untergruppe II B (4 Tiere) 407 g Futter und mithin bei einem Ca-Gehalt der Ration von 3,03 % 12,33 g Gesamtcalcium auf. Die durch-

schnittliche Ca-Einnahme pro Tier betrug also 3,08 g Ca. Hiervon retinierten die Tiere bis zur 55. Stunde nach Beginn der markierten Fütterung bei einem Retentionskoeffizienten von 60 % durchschnittlich 1,85 g des mit der Probemahlzeit aufgenommenen Ca.

Analog diesem Berechnungsbeispiel wurden in den Versuchen Nr. 1 bis 4 die relative und absolute Ca-Retention ermittelt.

Versuch Nr. 1 (Tab. 3)

17 Wochen alte Junghennen retinierten bis zur 55. Stunde nach Beginn der markierten Fütterung durchschnittlich

$41,3 \pm 5,4$ (Gr. I) / $28,6 \pm 2,2$ (Gr. II) resp. $18,2 \pm 0,9$ % (Gr. III)

der aufgenommenen Ca-Menge aus Rationen, die

0,49 (I) / 1,09 (II) resp. 2,10 % Ca (III) enthielten.

Die absolute Ca-Retention war dagegen in Gruppe II und III höher als in Gruppe I, sie betrug in den jeweiligen Gruppen durchschnittlich

$0,17 \pm 0,02$ (I) / $0,27 \pm 0,04$ (II) resp. $0,35 \pm 0,02$ g (III).

Die Differenz der Gruppenmittelwerte ließ sich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,01$ statistisch sichern.

Versuch Nr. 2 (Tab. 4)

Da die Hennen der Gruppen I bis III in diesem 2 Wochen später durchgeführten Experiment teils schon produzierten, teils unmittelbar vor Eintritt der Legereife standen, waren die Retentionsraten innerhalb der einzelnen Gruppen erheblichen Schwankungen unterworfen. Es wurde deshalb in Tab. 4 auf Angabe von Gruppenmittelwerten verzichtet und nur die durchschnittliche Ca-Retention

pro Tier je Untergruppe betrachtet.

Wie aus der Tabelle hervorgeht, zeigten die Tiere der Untergruppen I A und I D (0,49 % Ca in der Ration), die während des Versuches noch nicht legten, mit

47,5 % = 0,20 g bzw. 56,1 % = 0,19 g

gegenüber dem vorangegangenen Experiment eine deutlich höhere Ca-Retentionsrate.

Bei den Hennen der Gruppe II (1,09 % Ca in der Ration), die je Untergruppe eine Legeleistung von 6,7 % (II B) bis 20,0 % (II C) aufwiesen (dabei wurde die Legeleistung aus der Zahl der bis zur 72. Stunde nach Beginn der markierten Fütterung angefallenen Eier berechnet), stieg die Ca-Retention korrelierend mit der Höhe der Eiproduktion auf

32,6 % = 0,29 g (II B) bis 43,3 % = 0,34 g (II C).

Aus der Gruppe III (2,10 % Ca in der Ration) retinierten die Tiere der Untergruppe III D entsprechend ihrem schon sehr hohen Leistungsstand (Legeleistung = 80,0 %) 52,9 % = 1,01 g des mit der Probemahlzeit aufgenommenen Ca.

Bemerkenswert ist, daß lediglich die Hennen der Untergruppen III A und III C im Durchschnitt 60 mg (III A) bzw. 120 mg (III C) weniger Ca retinierten als 14 Tage zuvor.

Wie dieser Befund zu interpretieren ist, wird in dem Kapitel "Diskussion" erörtert.

Versuch Nr. 3 (Tab. 5)

Während der Versuchsperiode befand n sich die 8 Monate alten Legehennen gleichmäßig in Produktion, dabei betrug die monat-

liche Legeleistung

86,6 % (Gruppe I),
92,0 % (Gruppe II)
bzw. 89,9 % (Gruppe III).

Aus Rationen, die 2,08 % (I), 3,03 % (II) bzw. 4,05 % Ca (III) enthielten, retinierten die Tiere durchschnittlich

$74{,}2 \pm 1{,}6\ \% = 1{,}63 \pm 0{,}20$ g (I),
$59{,}6 \pm 1{,}7\ \% = 1{,}80 \pm 0{,}13$ g (II)
$55{,}4 \pm 3{,}8\ \% = 2{,}10 \pm 0{,}02$ g (III)

des mit der markierten Probemahlzeit aufgenommenen Calciums.

Von den Differenzen der Mittelwerte zeigten sich als signifikant ($p < 0{,}001$) die relativen Ca-Retentionskoeffizienten zwischen den Gruppen I und II sowie I und III, während sich die Unterschiede der absoluten Ca-Retentionswerte lediglich zwischen Gruppe I und III mit $p < 0{,}001$ statistisch sichern ließen.

Versuch Nr. 4 (Tab. 6)

Aus Rationen, die denselben Ca-Gehalt wie in Versuch 3 aufwiesen, zeigten 15 Monate alte Leger bei einer monatlichen Legeleistung von

72,0 % (Gruppe I),
80,4 % (Gruppe II)
bzw. 73,5 % (Gruppe III)

eine Ca-Retention von durchschnittlich

$64{,}3 \pm 12{,}9\ \% = 0{,}95 \pm 0{,}20$ g (I)
$41{,}7 \pm 8{,}0\ \% = 1{,}05 \pm 0{,}16$ g (II)
bzw. $27{,}2 \pm 8{,}0\ \% = 0{,}78 \pm 0{,}29$ g (III).

Die Größe des Streubereiches erklärt sich daraus, daß der Leistungsstand der Tiere während dieser Versuchsperiode in den einzelnen Untergruppen sehr unterschiedlich war (siehe Spalte 2 in Tab. 6).

Bis auf die Tiere der Untergruppe I A (2,02 % Ca in der Ration), die während der Versuchsperiode eine noch sehr hohe Legeleistung von 91,7 % hatten, waren die Ca-Retentionswerte aller Gruppen niedriger als im vorangegangenen Experiment. Dabei zeigten die Hennen der Gruppe III (4,05 % Ca in der Ration) mit durchschnittlich 27,2 $\pm$ 8,0 % = 0,78 $\pm$ 0,29 g den stärksten Abfall in der Ca-Retention.

Tabelle 3

Die Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes bei 17 Wochen alten Junghennen

Ca-Gehalt d. Ration (%)	Gruppe	Ca-Einnahme[1] pro Tier (g)	Ca^{47}-Retention[2] (%)	Ca-Retention[3] pro Tier (g)	
0,49	I A	0,42	33,4	0,14	
	I B	0,43	43,0	0,18	
	I C	0,40	45,0	0,18	
	I D	0,39	44,0	0,17	
		0,41	41,3[a)]	0,17[a)]	$\bar{x}$
		± 0,02	± 5,4	± 0,02	s
1,09	II A	0,85	28,6	0,24	
	II B	0,97	29,2	0,28	
	II C	0,91	25,6	0,23	
	II D	1,02	31,0	0,31	
		0,93	28,6[b)]	0,27[b)]	$\bar{x}$
		± 0,07	± 2,2	± 0,04	s
2,10	III A	1,99	19,0	0,37	
	III B	1,82	18,8	0,34	
	III C	1,80	18,1	0,33	
	III D	2,16	17,0	0,37	
		1,94	18,2[c)]	0,35[c)]	$\bar{x}$
		± 0,17	± 0,9	± 0,02	s

$\bar{x}$ = Mittelwert

s = Standardabweichung

a) b) c) = Mittelwerte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich signifikant ($P<0,01$)

1) die Ca-Einnahme bezieht sich auf eine 10 1/2-stündige markierte Fütterung

2) die Ca^{47}-Retention wurde bis zur 55. Stunde nach Beginn der markierten Fütterung erfaßt

3) die Ca-Retention in Gramm (g) ergibt sich aus der Beziehung:

$$\frac{\text{Ca-Einnahme} \times Ca^{47}\text{-Retention}}{100}$$

Tabelle 4

Die Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes bei 19 Wochen alten Hennen mit beginnender Legetätigkeit

Ca-Gehalt der Ration (%)	Gruppe		Legeleistung der Tiere (%)	Ca-Einnahme[1] pro Tier (g)	Ca^{47}-Retention[2] (%)	Ca-Retention[3] pro Tier (g)
0,49	I	A	-	0,41	47,5	0,20
		B	13,3	0,37	51,2	0,19
		C	26,7	0,39	58,5	0,23
		D	-	0,34	56,1	0,19
1,09	II	A	6,7	0,77	38,3	0,29
		B	13,3	0,84	32,6	0,28
		C	20,0	0,79	43,3	0,34
		D	20,0	0,81	42,1	0,34
2,10	III	A	6,7	1,60	19,3	0,31
		B	33,3	1,45	35,6	0,52
		C	-	1,33	16,0	0,21
		D	80,0	1,91	52,9	1,01

x) die Legeleistung bezieht sich auf einen Zeitraum von 72 Stunden nach Beginn der markierten Fütterung

1)-3) Erläuterung der Indices siehe Tabelle 3

Tabelle 5

Die Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes bei 8 Monate alten Legehennen (3. Legemonat)

Ca-Gehalt der Ration (%)	Gruppe		Ca-Einnahme[1] pro Tier (g)	Ca^{47}-Retention[2] (%)	Ca-Retention[3] pro Tier (g)	
2,02	I	A	2,08	75,1	1,56	
		B	1,98	74,9	1,48	
		C	2,39	74,8	1,79	
		D	2,38	71,8	1,71	
			2,20	74,2	1,63	$\bar{x}$
			$\pm$ 0,18	$\pm$ 1,6	$\pm$ 0,20	s
3,03	II	A	2,93	58,3	1,71	
		B	3,08	60,0	1,85	
		C	3,05	58,5	1,78	
		D	3,04	61,9	1,88	
			3,02	59,6	1,80	$\bar{x}$
			$\pm$ 0,12	$\pm$ 1,7	$\pm$ 0,13	s
4,05	III	A	3,96	52,7	2,09	
		B	3,61	58,1	2,10	
		C	4,12	51,6	2,13	
		D	3,53	59,2	2,09	
			3,80	55,4	2,10	$\bar{x}$
			$\pm$ 0,47	$\pm$ 3,8	$\pm$ 0,02	s

$\bar{x}$ = Mittelwert

s = Standardabweichung

1) -3) Erläuterung der Indices siehe Tabelle 3

Tabelle 6

Die Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes bei 15 Monate alten Legehennen (10. Legemonat)

Ca-Gehalt der Ration (%)	Gruppe und Legeleistung[x] der Tiere		(%)	Ca-Einnahme[1] pro Tier (g)	Ca^{47}-Retention[2] (%)	Ca-Retention[3] pro Tier (g)	
2,02	I	A	91,7	1,59	77,3	1,23	
		B	66,7	1,34	65,4	0,89	
		C	73,3	1,45	68,1	0,99	
		D	25,0	1,52	46,6	0,71	
			64,1	1,48	64,3[a]	0,95[a]	$\bar{x}$
			± 28,2	± 0,08	± 12,9	± 0,20	s
3,03	II	A	83,3	2,30	51,1	1,18	
		B	86,7	2,77	38,9	1,08	
		C	66,7	2,51	32,4	0,81	
		D	75,0	2,57	44,7	1,15	
			77,9	2,53	41,7[b]	1,05[a]	$\bar{x}$
			± 9,0	± 0,18	± 8,0	± 0,16	s
4,05	III	A	60,0	2,84	23,0	0,65	
		B	77,8	3,14	39,5	1,24	
		C	56,6	2,75	22,4	0,62	
		D	58,3	2,65	24,1	0,64	
			62,9	2,84	27,2[c]	0,78[a]	$\bar{x}$
			± 10,1	± 0,20	± 8,0	± 0,29	s

$\bar{x}$ = Mittelwert
s = Standardabweichung
a) b) c) Mittelwerte mit verschiedenen Indices unterscheiden sich signifikant ($P < 0,05$)

x) die Legeleistung bezieht sich auf einen Zeitraum von 72 Stunden nach Beginn der markierten Fütterung

1)-3) Erläuterung der Indices siehe Tabelle 3

B. Der Einbau von markiertem Nahrungs-Calcium in die Eischale nach Verfütterung Ca^{47}-signierter Ration unterschiedlichen Ca-Gehaltes

In den Versuchen 3 und 4 wurde neben der Ca-Retention der Anteil des markierten Calciums am Gesamtcalciumgehalt der Eischale erfaßt. Dabei wurden die Eier berücksichtigt, die bis zum dritten Tag nach Beginn der signierten Fütterung gelegt wurden und die sich nach ihrer Ablage zeitlich wie folgt ordnen ließen

1. Ablage: 2. - 8.
2. Ablage: 25. - 32. und
3. Ablage: 50. - 59. Stunde

nach Beginn der 10 1/2 stündigen Probemahlzeit.

Den prozentualen Anteil des markierten Calciums am Gesamteischalencalcium errechneten wir über den Quotienten der spezifischen Aktivitäten des radiosignierten Futters und der Eischale nach folgender Beziehung

$$x = \frac{\text{spezifische } Ca^{47}\text{-Aktivität der Eischale (Ipm/mg Ca)}}{\text{spezifische } Ca^{47}\text{-Aktivität des Futters (Ipm/mg Ca)}} \times 100$$

Beispiel:

Im Versuch 3 kamen von einem Ei, das innerhalb der Gruppe I (2,02 % Ca in der Ration) in der 2. Ablageperiode gelegt wurde, 0,5 g Schale zur γ-spektrometrischen Messung (nähere Einzelheiten siehe Methodik). Die Ca^{47}-Aktivität dieser Probe betrug 2286 Ipm. Da die Eischale 37 % Calcium enthält, entsprechen 0,5 g Schale 185 mg Ca. Die spezifische Ca^{47}-Aktivität der Eischale betrug demnach

$$\frac{2286}{185} = 12 \text{ Ipm / mg Ca.}$$

Von dem aktiven Futter gelangte eine Probe von 1 g zur Ca^{47}-Messung; dabei wurden folgende Daten ermittelt:

1 g Futter $\triangleq$ 20,02 mg Ca = 414 Ipm Ca^{47}

Die spezifische Ca^{47}-Aktivität des Futters betrug also

$$\frac{414}{20,02} = 21 \text{ Ipm / mg Ca.}$$

Auf Grund der oben genannten Beziehung ergibt sich:

$$x = \frac{12 \times 100}{21} = 57,1\ \%$$

Dieser Anteil des Schalen-Gesamtcalciums stammt aus der signierten Mahlzeit. Bei einem Ca-Gehalt dieser Schale von insgesamt 1,81 g wurden demnach 1,03 g des mit der Probemahlzeit aufgenommenen Calciums für die Calcifizierung der Schale verwendet.

Analog diesem Rechenbeispiel wurde der Ca^{47}-Einbau für die während der einzelnen Ablageperioden angefallenen Eier der Tiergruppen I bis III berechnet und die Ergebnisse als Gruppendurchschnittswerte mit ihren Standardabweichungen in Tab. 7 zusammengestellt. Die Größe des Streubereiches der Werte erklärt sich daraus, daß hier die Ca^{47}-Gehalte von Eiern zusammengefaßt wurden, die z. B. über einen Zeitraum von 7 Stunden (2. Ablageperiode) gelegt wurden, wobei die Eischalen-Mineralisation nicht synchron verlief.

Versuch 3, Tabelle 7

Wie die Tabelle 7 ausweist, waren die Eischalen aus der ersten Ablageperiode zum Zeitpunkt des Beginns der markierten Fütterung weitgehend mineralisiert, so daß der Anteil an markiertem Eischalencalcium lediglich 3,1 bis 4,7 % ausmacht. Etwa 24 Stunden später (2. Ablageperiode) waren 61,1 % = 1,00 g (Gruppe I), 63,8 % = 1,14 g (Gruppe II) bzw. 69,5 % = 1,16 g (Gruppe III) des in den Eischalen ermittelten Calciums markiert. Bei den Eiern, die zwischen der 50. und 59. Sturde nach Beginn der Probemahlzeit anfielen, betrug der markierte Anteil des in den Eischalen befindlichen Calciums nunmehr 7,8 - 8,8 %. Es ergaben sich zwischen den Grup-

pen mit hohem bzw. niedrigem Ca-Gehalt in der Ration innerhalb einer Ablageperiode keine signifikanten Differenzen im Ca^{47}-Gehalt der Eischalen; jedoch geht eine Tendenz dahin, daß bei höherer Ca-Dosierung des Futters mehr Nahrungs-Calcium in die Eischale eingebaut wird.

Versuch 4, Tabelle 7

Wie bei den 8 Monate alten Legehennen betrug in der ersten Ablageperiode bei den 15 Monate alten Tieren der markierte Ca-Anteil in den Eischalen weniger als 10 %. In den Eischalen aus der zweiten Ablageperiode wurde auch im 4. Versuch der höchste Prozentsatz an markiertem Calcium gefunden; mit 32,9 % = 0,54 g (Gruppe I), 36,0 % = 0,66 g (Gruppe II) bzw. 30,2 % = 0,58 g (Gruppe III) war der Ca^{47}-Einbau allerdings nur noch etwa halb so hoch wie bei den 8 Monate alten Legern.
Bemerkenswert ist, daß die Tiere der Gruppe III (4,04 % Ca in der Ration) im 4. Versuch mit 30,2 % den niedrigsten Anteil an markiertem Eischalencalcium aufwiesen. Im 3. Versuch dagegen war bei den Tieren derselben Gruppe (III) der Ca^{47}-Gehalt in den Eischalen am höchsten, verglichen mit den entsprechenden Daten der übrigen Gruppen.

Tabelle 7

Durchschnittlicher Anteil an markiertem Eischalencalcium nach Verfütterung Ca^{47}-signierter Rationen mit unterschiedlichen Ca-Gehalten

Eiablage-zeit (Stunde)[x]	Gruppe I			Gruppe II			Gruppe III		
	Gesamt-Ca pro Eischale (g)	Ca^{47}-Anteil am Gesamt-Eischalen-Ca (%)	(g)	Gesamt-Ca pro Eischale (g)	Ca^{47}-Anteil am Gesamt-Eischalen-Ca (%)	(g)	Gesamt-Ca pro Eischale (g)	Ca^{47}-Anteil am Gesamt-Eischalen-Ca (%)	(g)
Versuch 3									
2. - 8.	1,67	4,7 ± 4,2	0,08 ± 0,07	1,85	3,5 ± 2,2	0,06 ± 0,04	1,81	3,1 ± 2,9	0,06 ± 0,05
25. - 33.	1,64	61,1 ± 10,5	1,00 ± 0,17	1,78	63,8 ± 7,0	1,14 ± 0,12	1,67	69,5 ± 9,7	1,16 ± 0,16
50. - 59.	1,70	8,6 ± 2,3	0,15 ± 0,04	1,86	7,8 ± 2,4	0,15 ± 0,04	1,77	8,8 ± 1,8	0,16 ± 0,03
Versuch 4									
2. - 8.	1,57	2,4 ± 3,5	0,04 ± 0,06	1,69	4,0 ± 4,6	0,07 ± 0,08	1,61	1,4 ± 1,1	0,02 ± 0,01
25. - 33.	1,63	32,9 ± 7,1	0,54 ± 0,12	1,84	36,0 ± 6,8	0,66 ± 0,13	1,93	30,2 ± 5,3	0,58 ± 0,10
50. - 59.	1,57	6,3 ± 1,1	0,10 ± 0,02	1,89	4,8 ± 1,2	0,09 ± 0,02	2,00	3,5 ± 1,3	0,07 ± 0,03

x) nach Beginn der 10 1/2 stündigen markierten Mahlzeit

C. Eiqualitätsmerkmale nach Verfütterung von Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes

Wie im Kapitel "Methodik" beschrieben, wurden an einem Untersuchungsmaterial - bestehend aus insgesamt etwa 1600 Eiern - in vier Versuchsperioden von jeweils 10 Tagen das Eifrischgewicht sowie die Eischalenstabilität ermittelt. Im Zeitraum dieser Untersuchungen befanden sich die Hennen im 6., 7., 9. und 10. Legemonat (Tab. 1).

In der Tabelle 8 sind die Durchschnittswerte und deren Standardabweichungen, die Variationskoeffizienten der Eischalenbruchfestigkeit sowie die monatliche Legeleistung der Tiere zur Zeit der Eiqualitätsprüfungen zusammengestellt.

Wie die Tabelle 8 ausweist, hatten die Eischalen in Gruppe II (3,03 % Ca in der Ration) während aller Versuchsperioden die höchste und die in Gruppe I (2,06 % Ca) die niedrigste Bruchfestigkeit.

Korrelierend mit zunehmendem Alter der Tiere verschlechterte sich die Bruchfestigkeit in Gruppe I gegenüber Gruppe II um 13 % (Periode 1), 18 % (Periode 2), 22 % (Periode 3) bzw. 30 % (Periode 4). Diese Unterschiede erwiesen sich mit $p<0,001$ als hochsignifikant.

Bemerkenswert ist, daß die Eier der Hennen mit der höchsten Calcium-Dosierung im Futter (Gruppe III) eine um 8 % (Periode I), 4 % (Periode 2), 9 % (Periode 3) bzw. 10 % (Periode 4) schlechtere Eischalen-Bruchfestigkeit als die in Gruppe II hatten. Ausgenommen Periode 2 waren auch hier die Differenzen signifikant ($p<0,01$).

Weiterhin ist aus der Tabelle 8 zu entnehmen, daß mit zunehmendem Alter der Hennen in allen Gruppen ein Qualitätsabfall in der Bruchfestigkeit festgestellt wurde; dieser war in Gruppe I mit 31 % (Periode 4 gegenüber Periode 1) am deutlichsten.

Beim Vergleich der monatlichen Legeleistung der Hennen zur Zeit der Eiqualitätsprüfungen zeigten die Tiere der Gruppe II in allen Versuchsperioden - bei fortschreitendem Alter allerdings abfallend - die beste Legeleistung.

Die Angaben in Tabelle 9 beziehen sich auf das gleiche Untersuchungsmaterial wie oben. Hier wurden ergänzend zu den Daten in Tabelle 8 die Durchschnittswerte des Eifrischgewichtes und des Eischalentrockengewichtes zusammengestellt. Betrachtet man das Eifrischgewicht bei den Tieren der Gruppen I bis III innerhalb einer Versuchsperiode, sieht man keinen nennenswerten Einfluß auf Grund der Ca-Konzentration des Futters. Dagegen bestand eine allerdings bei dieser Versuchsanstellung statistisch nicht zu sichernde Tendenz, daß sich mit zunehmendem Alter bzw. bei Rückgang der Legeleistung das Eigewicht erhöht.

Ein grundsätzlich anderes Verhalten zeigte das Schalentrockengewicht, das in allen Versuchsperioden mit der Höhe des Ca-Gehaltes in der Ration korrelierte. Vergleicht man die Mittelwerte in Gruppe III mit denen der Gruppe I, erweisen sich die Differenzen als hochsignifikant ($p < 0,001$).

Zwischen den Werten der Gruppe III und II sind, ausgenommen Periode 2, die Unterschiede nicht signifikant; sie lassen sich jedoch bei Gruppe II und I mit $p < 0,001$ statistisch sehr gut sichern.

Betrachtet man das Schalengewicht in Gruppe II und III im Verlauf der Versuchsperioden, macht man die Feststellung, daß dieses Merkmal trotz veränderten Alters und Leistungsstandes der Tiere auf nahezu konstantem Qualitätsniveau blieb. Dagegen hat das Schalengewicht der Gruppe I in Periode 4 gegenüber Periode I um 5 % signifikant abgenommen.

Tabelle 8

Durchschnittswerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Eischalen-Bruchfestigkeit nach Verfütterung von Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes an Hennen in verschiedenen Alters- und Leistungsstadien

Alter der Hennen (Monate)	Gruppe x)	Monatliche Legeleistung (%)	Zahl der geprüften Eier	Bruchfestigkeit (kp)	Standardabweichung (kp)	Variationskoeffizient (%)
11 (1. Periode)	I	77,1	131	2,78	± 0,76	27,3
	II	88,0	176	3,19	± 0,71	22,3
	III	81,6	155	2,93	± 0,77	26,3
12 (2. Periode)	I	80,6	145	2,40	± 0,75	31,3
	II	84,2	160	2,92	± 0,83	28,4
	III	76,6	115	2,79	± 0,77	27,6
14 (3. Periode)	I	71,4	100	2,20	± 0,68	30,9
	II	81,7	139	2,81	± 0,75	26,7
	III	71,9	115	2,56	± 0,71	27,7
15 (4. Periode)	I	76,0	114	1,91	± 0,62	32,5
	II	81,3	130	2,64	± 0,73	27,7
	III	70,7	106	2,37	± 0,64	27,0

x) Gruppe I : 2,06 % Ca, Gruppe II : 3,03 % Ca und Gruppe III : 4,08 % Ca in der Ration

Tabelle 9

Durchschnittswerte des Eifrischgewichtes und des Schalengewichtes nach Verfütterung von Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes an Hennen in verschiedenen Alters- und Leistungsstadien

Alter der Hennen (Monate)	Gruppe x)	Monatliche Legeleistung (%)	Zahl der geprüften Eier	Eifrischgewicht (g)	Schalengewicht (g)
11 (1. Periode)	I	77,1	131	57,9 ± 3,8	5,07 ± 0,52
	II	88,0	176	57,8 ± 4,1	5,35 ± 0,48
	III	81,6	155	57,2 ± 3,6	5,39 ± 0,54
12 (2. Periode)	I	80,6	145	58,5 ± 4,2	5,02 ± 0,49
	II	84,2	160	58,7 ± 3,8	5,34 ± 0,52
	III	76,6	115	59,8 ± 4,3	5,50 ± 0,45
14 (3. Periode)	I	71,4	100	58,8 ± 4,0	4,95 ± 0,55
	II	81,7	139	59,8 ± 3,6	5,38 ± 0,53
	III	71,9	115	59,7 ± 4,5	5,40 ± 0,49
15 (4. Periode)	I	76,0	114	60,2 ± 4,6	4,81 ± 0,45
	II	81,3	130	60,8 ± 4,2	5,30 ± 0,50
	III	70,7	106	61,7 ± 4,1	5,40 ± 0,53

x) Gruppe I: 2,06 % Ca, Gruppe II: 3,03 % Ca und Gruppe III: 4,08 % Ca in der Ration

VI. DISKUSSION

Um weitere Daten über die Verwertung von Nahrungs-Calcium in Abhängigkeit vom Alter und Leistungsstand bei Legehennen zu erhalten, wurden die Ca-Retention und die Eischalenstabilität bei unterschiedlich mit Calcium versorgten Hybridlegehennen mehrmals im Verlauf eines Jahres geprüft.

Die Basalrationen enthielten für noch nicht legende bzw. später für produzierende Hennen mit Ausnahme von Calcium alle Nähr-, Mineral- und Wirkstoffe in optimalen Mengen. Nach Supplementation dieser Ca-armen Basaldiäten mit $CaCO_3$ lagen in den fertigen Versuchsrationen folgende analytisch ermittelte Ca-Konzentrationen vor:

Für Versuch 1 und 2 (17 bzw. 19 Wochen alte Junghennen) 0,49 % (Gruppe I), 1,09 % (Gruppe II) und 2,10 % (Gruppe III);
für Versuch 3 und 4 (8 bzw. 15 Monate alte Legehennen) 2,02 % (Gruppe I), 3,03 % (Gruppe II) und 4,05 % (Gruppe III).

A. Zur Methodik der Ca-Retentionsermittlung aus Ca^{47}-markierten Rationen

Zur Bestimmung der Ca-Retention wurde das Verfahren der kurzfristigen Verabreichung einer markierten Probemahlzeit gewählt. Hierzu ist in den Versuchen 1 bis 4 anstelle des inaktiven $CaCO_3$ Calcium-47-markiertes Calciumcarbonat sowie Chrom-51-markiertes Cr_2O_3 den Basalrationen beigemischt worden.

Die Ausscheidung des doppeltsignierten Futters, das den Tieren 10 1/2 Stunden zur Verfügung stand, konnte anhand gammaspektrometrischer Messungen der Ca^{47}- und Cr^{51}-Aktivitäten in den Exkrementen ohne großen Arbeitsaufwand bis zu dem Zeitpunkt verfolgt werden, an dem die Darmpassage des markierten Futters

mit Sicherheit beendet war. Aus dem Vergleich der Quotienten Ca^{47}/Cr^{51} im Futter und im Kot lassen sich dann die prozentualen Anteile des aus der signierten Mahlzeit jeweils retinierten Calciums auf einfache Weise berechnen.

Weiterhin ist das aus dem Ca^{47}-markierten Futter stammende, in das Skelett bzw. in die Eischale eingebaute Calcium leicht direkt nachweisbar, so daß auch Aussagen über die Verwendung sowie über die Umsatzgeschwindigkeit des retinierten Calciums möglich sind.

Da die Verwertung des Nahrungs-Ca aus signierten Rationen mehrmals an ein und demselben Tiermaterial - bestehend aus 60 HNL-Hybridlegehennen - zu ermitteln war, mußte gewährleistet sein, daß das im vorangegangenen Experiment aufgenommene Radiocalcium bei der nachfolgenden Wiederholung der Untersuchungen deren Ergebnisse nicht beeinflußt. Dies wurde erreicht, indem zur Markierung des Nahrungs-Ca anstelle des sonst hierzu gebräuchlichen langlebigen Betastrahlers Calcium-45 ein anderes radioaktives Calciumisotop, nämlich Calcium-47 Verwendung fand. Ca^{47} zerfällt unter Emission von Betakorpuskeln und leicht nachweisbaren Gammaquanten (1,31 MeV) mit einer physikalischen Halbwertzeit (HWZ) von nur 4,7 Tagen zu dem ebenfalls radioaktiven Tochternuklid Scandium-47 (HWZ= 3,4 Tage), dessen Gammaenergie (0,16 MeV) von der des Ca^{47} spektrometrisch zu diskriminieren ist.

Vergleicht man die zwischen den einzelnen Versuchen liegenden Zeiträume (Tab. 2) und die HWZ des Ca^{47}, so geht daraus hervor, daß allenfalls in den Proben des zweiten Versuchs mit Ca^{47}-Aktivitäten aus Versuch 1 zu rechnen wäre, wenn man die biologische Aktivitätsabnahme (Dekorporierung) überhaupt nicht berücksichtigt. Aus diesem Grunde ist das Kloakenexkret der Versuchstiere kurz vor Beginn des zweiten Experiments auf das Vorhandensein etwaiger Ca^{47}-Restaktivitäten untersucht worden, die sich jedoch in keinem Fall nachweisen ließen.

B. Zu den Ergebnissen der Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Rationen

1. 17 bzw. 19 Wochen alte Junghennen

Bei der Betrachtung der ermittelten Ca-Retentionswerte aus Ca^{47}-markierten Legehennenrationen sei darauf hingewiesen, daß sich diese Daten auf die 55. Stunde nach Beginn der signierten Probemahlzeiten beziehen - also auf einen Zeitpunkt, zu dem das für 10 1/2 Stunden gereichte etikettierte Futter den Darm garantiert vollständig passiert hat, wie aus früheren Untersuchungen von BRONSCH und Mitarb. (2) hervorgeht. Wenngleich die auf diese Weise bestimmten Ca-Retentionsgaben nur auf kurzfristigen Untersuchungen basieren, erlaubt ein Vergleich der Resultate Aussagen über das Verhalten der Ca-Retention bei unterschiedlich mit Calcium versorgten Legehennen in Abhängigkeit von deren Alter und Leistungsstatus. Dabei sind die hier mitgeteilten Ca-Retentionswerte als gute Nährungswerte der tatsächlich pro Tier und Tag retenierten Ca-Menge anzusehen.

Aus den an nichtlegenden 17 Wochen alten Junghennen gewonnenen Ergebnissen (Tab. 3) geht hervor, daß die prozentuale Ca-Retention eine deutliche Abhängigkeit von der jeweiligen Ca-Konzentration des Futters zeigt: je niedriger die Ca-Einnahme mit dem Ca^{47}-signierten Futter, desto höher lag der daraus prozentual retinierte Ca-Anteil.

Betrachtet man jedoch die absolut retinierte Ca-Menge, so ergibt sich, daß trotz niedriger prozentualer Ca-Retention bei den besser mit Calcium versorgten Tieren (1,09 bzw. 2,10 % Ca im Futter) diese mehr Calcium retinierten als Junghennen mit 0,49 % Ca in der Ration.

Daraus folgt, daß Informationen über den in der Praxis entscheidenden Absolutbetrag an retiniertem Calcium aus der prozentualen

Ca-Retentionsangabe ohne Kenntnis der Ca-Einnahme bzw. des Ca-Gehaltes der Ration nicht erhältlich sind.

Zwei Wochen später - im Alter von 19 Wochen - zeigten dieselben Tiere, die vereinzelt mit der Eiproduktion begonnen hatten, im allgemeinen sowohl prozentual als auch absolut erhöhte Ca-Retentionswerte (Tab. 4), obwohl die Ca-Einnahme mit dem Futter leicht zurückging. Dieser Befund ist bei den bereits legenden Hennen auf die Legetätigkeit und bei den noch nicht produzierenden Tieren auf die Mineralisierung der Knochenmarkshöhlen zurückzuführen. Bemerkenswert dabei erscheint, daß mit nur 0,49 % Ca im Futter versorgte Tiere auch bei beginnender Legetätigkeit nur wenig mehr Calcium zu retinieren vermochten als noch nicht legende Junghennen. Demnach scheinen diese Tiere der Gruppe I bei einer Ca-Konzentration im Futter von 0,49 % die obere Grenze ihres Ca-Retentionsvermögens schon 2 Wochen vorher nahezu erreicht zu haben, so daß auch bei Eintritt der Legereife eine weitere Steigerung kaum mehr möglich war.

Abweichend davon zeigten die noch nicht legenden Tiere der Gruppe III (2,10 % Ca in der Ration) im zweiten Versuch eine leicht verminderte Ca-Retention im Vergleich zu den entsprechenden Werten des ersten Experiments. Dieses Ergebnis ist nur so zu deuten, daß durch die gegenüber den Tieren anderer Gruppen deutlich höhere Ca-Retention im ersten und zweiten Experiment die Ausbildung des "medullary bone" schon früher abgeschlossen war und, da die Tiere noch nicht legten, weitere Ca-Mengen nicht benötigt wurden.

Der Einfluß variierender Ca-Konzentrationen im Futter auf die Ca-Retention 19 Wochen alter Junghennen konnte statistisch nicht geprüft werden, da die Ergebnisse von Tieren in unterschiedlichem Produktionsstadium nicht miteinander zu vergleichen sind.

2. 8 bzw. 15 Monate alte produzierende Legehennen

Nachdem bei beginnender Legetätigkeit - wie im Kapitel "Methodik" ausführlich beschrieben - eine Futterumstellung erfolgt war, die dem erhöhten Bedarf legender Tiere an Nähr-, Mineral- und Wirkstoffen Rechnung trug, ist die Ca-Retention aus Ca^{47}/Cr^{51}-markierten Rationen unterschiedlichen Ca-Gehaltes an demselben Tiermaterial im dritten sowie im zehnten Legemonat erneut ermittelt worden.

Die in Tab. 5 und 6 angegebenen Retentionsdaten beziehen sich wiederum auf einen Zeitraum bis zur 55. Stunde nach Fütterungsbeginn mit der doppeltsignierten Ration und zwar ohne Berücksichtigung des jeweiligen Funktionszustandes der Schalendrüse. Die Abhängigkeit der Ca-Retention vom Funktionsstadium des Legehennenuterus konnte durch fraktioniertes Sammeln der Exkremente erneut bestätigt werden. Wie bereits im Abschnitt "Methodik" erwähnt, sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit nicht aufgeführt, da sie an anderer Stelle mitgeteilt werden sollen.

Betrachtet man zunächst die Ca-Retentionswerte bei den HNL-Hennen im 3. Legemonat (Tab. 5), so ist auch hier wie bei nichtlegenden Junghennen eine Abhängigkeit der prozentualen Ca-Retention vom Ca-Gehalt der Ration zu erkennen, wobei die zwischen den Gruppen I und II bzw. I und III festgestellten Differenzen sich statistisch sichern ließen ($p < 0,01$).

Dagegen beeinflußt die Ca-Konzentration des Futters die absoluten Ca-Retentionswerte etwa gleich gut produzierender Hennen, deren Legeleistung im 3. Legemonat 86,8 (Gruppe I), 92,0 (Gruppe II) bzw. 89,9 % (Gruppe III) betrug, nicht so deutlich, so daß sich die Unterschiede der absolut retinierten Ca-Menge statistisch nur zwischen den Tieren der Gruppe I (2,02 % Ca in der Ration) und denen der Gruppe III (4,05 % Ca im Futter) sichern ließen.

Stellt man die Ca-Retentionswerte der jeweiligen Legeleistung unter Einbeziehung des durchschnittlichen Ca-Gehaltes der Eischale gegenüber, so läßt sich daraus näherungsweise ableiten, daß die Tiere aller Gruppen im 3. Legemonat eine ausgeglichene bis leicht positive Ca-Bilanz aufwiesen. Den mit 2 % Ca in der Ration versorgten Legehennen gelang der Ausgleich ihrer Ca-Bilanz allerdings nur bei leicht verminderter Ca-Abgabe mit den Eischalen (Tab. 7).

Wesentlich schwieriger zu interpretieren sind die Ca-Retentionswerte von Hennen im 10. Legemonat (Tab. 6). Zwar ergibt sich auch hier eine deutliche Abhängigkeit der Ca-Retention von der Legefrequenz, die im 10. Legemonat erwartungsgemäß niedriger war als in den ersten Zeitabschnitten der Legetätigkeit.

Die während des letzten Ca-Retentionsversuchs auch innerhalb der Gruppen sehr unterschiedliche Legeleistung überdeckte jedoch etwaige Einflüsse der Ca-Konzentration des Futters auf die Verwertung des Nahrungs-Ca vollständig, so daß diesbezügliche Aussagen nicht möglich sind. Im ganzen gesehen scheinen die ermittelten Ca-Retentionsdaten bei den 15 Monate alten Legehennen deren Legeleistung nicht zu entsprechen und die Ca-Bilanzen somit größeren Schwankungen unterworfen zu sein. Um derartige Schwankungen zu verfolgen, reichen Untersuchungen über die Ca-Ausnutzung einer markierten Tagesration offensichtlich nicht aus; vielmehr müssen hierzu wiederholt Ca-Bilanzen aufgestellt werden, die einen Zeitraum von mehreren Tagen erfassen.

C. Zum Einbau von markiertem Nahrungscalcium in die Eischale

Der prozentuale Anteil an markiertem Calcium in den Eischalen ist aus dem Vergleich der spezifischen Ca^{47}-Aktivitäten im Futter und in der Eischale zu errechnen.

Wie aus den in Tab. 7 zusammengestellten Werten hervorgeht, richtet sich der in der Eischale markierte Ca-Anteil vor allem nach dem Funktionszustand der Schalendrüse zur Zeit der Ca^{47}-signierten Fütterung:
bis zur 8. Stunde nach deren Beginn betrug das markierte Calcium in den Eischalen bei jungen und alten Legehennen aller Gruppen noch unter 5 % des gesamten Eischalencalciums; die Schalenmineralisation der bis dahin abgelegten Eier war größtenteils schon abgeschlossen. In der 25. bis 32. Stunde erreichte der markierte Ca-Anteil des Eischalencalciums mit über 60 % bei den 8 Monate alten Tieren sein Maximum. Auch bei den älteren Legern wurden in diesem Zeitabschnitt die höchsten Werte an markiertem Calcium in der Eischale gemessen, jedoch betrug dessen Anteil nurmehr wenig über 30 %.

Dies wird verständlich, wenn man die im Vergleich zu den jüngeren Tieren bei 15 Monate alten Legehennen verminderte Ca-Resorptionsrate berücksichtigt. Bezieht man die in die Eischale eingebaute Menge an markiertem Calcium auf das aus der Ca^{47}-signierten Probemahlzeit retinierte Calcium, ergeben sich folgende Daten:
bis zur 72. Stunde nach Beginn der markierten Fütterung erschienen bei Hennen im 3. Legemonat 67 - 70 % des retinierten Calciums in den Eischalen, während es bei den Tieren im 10. Legemonat lediglich 50 - 57 % waren.

Die bei jungen Legern ermittelten Werte stimmen dabei gut mit bereits früher festgestellten Daten überein (16), was für ältere Hennen nicht zutrifft. Vermutlich befanden sich - wie aus einem Vergleich der Ca-Retentionswerte und der Legeleistung hervorgeht - die 15 Monate alten Hennen zum Zeitpunkt des vierten Versuchs in einer negativen Ca-Bilanzsituation, so daß die Tiere gezwungen waren, vom retinierten Calcium mehr in das Skelett einzubauen als 7 Monate vorher.

D. Zum Verhalten der Eischalenstabilität und zur Legeleistung der Versuchstiere

Der Einfluß unterschiedlicher Ca-Konzentrationen im Futter auf die Eischalenstabilitätsmerkmale Bruchfestigkeit und Schalentrockengewicht wurde zwischen dem 6. und 10. Legemonat in 4 weiteren Versuchsperioden geprüft (näheres siehe Kapitel "Methodik").

Aus den Periodendurchschnittswerten in Tab. 8 geht hervor, daß durch eine Erhöhung der Ca-Dosierung in der Ration von 2,06 (Gruppe I) auf 3,03 % (Gruppe II) die Eischalenbruchfestigkeit signifikant verbessert wurde.

Dagegen konnte eine weitere Verbesserung dieses Merkmals bei den mit 4,08 % Ca in der Ration versorgten Tieren der Gruppe III nicht mehr festgestellt werden. Eier der Hennen dieser Gruppe wiesen sogar eine signifikant - ausgenommen Periode 2 - schlechtere Schalenbruchfestigkeit auf als die von Tieren der Gruppe II.

Dieser Befund scheint zunächst den in Gruppe III ermittelten Eischalentrockengewichten (Tab. 9) zu widersprechen, die in allen Versuchsperioden die höchsten Werte zeigten.

Untersuchungen von HARMS und Mitarb. (6,7) ergaben, daß sich auch die Eischalendicke verbesserte, wenn der Ca-Gehalt der Ration von 2,00 bzw. 3,75 auf 5,00 % erhöht wurde.

Daraus folgt, daß sich aus einem hohen Eischalentrockengewicht bzw. aus einer großen Schalendicke nicht unbedingt eine gute Bruchfestigkeit ableiten läßt, während Eischalen mit geringem Trockengewicht meist auch eine unbefriedigende Bruchfestigkeit aufweisen.

Weiterhin ist aus der Tab. 8 zu entnehmen, daß sich mit zunehmendem Alter der Hennen in allen Gruppen die Bruchfestigkeit verschlechterte; dieser Qualitätsabfall war mit 31 % in Gruppe I am

deutlichsten. Demnach scheint ein Ca-Gehalt der Ration von 2,06 % insbesondere gegen Ende der Legesaison eine ausreichende Mineralisierung der Eischale nicht mehr zu gewährleisten.

Bei der Interpretation der zwischen den einzelnen Gruppen festgestellten Differenzen in der Legeleistung ist zu berücksichtigen, daß die monatliche Eiproduktion lediglich in jenen Monaten erfaßt wurde, in denen Eiqualitätsmessungen vorgenommen worden sind.

Wie aus den Tab. 8 und 9 hervorgeht, war die Legeleistung in Gruppe III gegenüber der in Gruppe II in allen 4 Versuchsperioden schlechter.

Aus diesem Ergebnis darf keineswegs gefolgert werden, daß eine Ca-Konzentration von etwa 4 % im Futter die Legefrequenz - über die gesamte Legeperiode betrachtet - negativ beeinträchtigen muß. HARMS und Mitarb. (6) konnten z. B. nachweisen, daß selbst bei ungewöhnlich hohen Ca-Gehalten in der Ration von 5 % und darüber die Legeleistung der Tiere nicht nachteilig beeinflußt wurde - vorausgesetzt, daß durch Fettzusätze ein energetischer Ausgleich im Futter geschaffen war.

Ob dies für alle Hybridhennen zutrifft bzw. ob einzelne Linien eine enger begrenzte Ca-Verträglichkeit besitzen, bedarf der Klärung durch weitere Untersuchungen.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Ca-Retention aus Ca^{47}-markierten Rationen wurde bei ein und demselben Tiermaterial, bestehend aus 60 HNL-Linienhybridhennen, in Abhängigkeit vom Alter und Leistungsstand der Tiere sowie vom Ca-Gehalt der Ration im Verlauf einer Legesaison mehrmals geprüft.

2. Die Ca^{47}-signierten Diäten, denen als unresorbierbarer Indikator Cr^{51}-markiertes Chromoxyd beigegeben war, wurden über einen Zeitraum von 10 1/2 Stunden verfüttert. Der Ca-Retentionskoeffizient ließ sich nach vollständiger Darmpassage dieser Mahlzeit aus dem Vergleich der Quotienten Ca^{47}/ Cr^{51} im Futter und im Kot bestimmen.

3. Im ersten Versuch retinierten 17 Wochen alte Junghennen, deren Rationen Ca-Gehalte von 0,49 (Gruppe I), 1,09 (Gruppe II) bzw. 2,10 % (Gruppe III) aufwiesen, durchschnittlich 41,3 % = 0,17 g (I)/ 28,6 % = 0,27 g (II) resp. 18,2 % = 0,35 g (III) des aufgenommenen markierten Calciums.

4. Bei beginnender Legetätigkeit der Versuchstiere, die mit den gleichen Diäten wie im ersten Versuch gefüttert wurden, zeigten alle bereits legenden Hennen - korrelierend mit der jeweiligen Legeleistung - eine deutlich höhere prozentuale Ca-Retention als 14 Tage vorher. Derselbe Befund konnte auch für die nicht legenden Tiere der Gruppe I festgestellt werden, was sich funktionell mit dem Aufbau des "medullary bone" deuten läßt. Letzterer Prozeß scheint bei den besser mit Calcium versorgten, noch nicht produzierenden Tieren der Gruppe III bereits abgeschlossen gewesen zu sein, wie aus der wenig veränderten Ca-Retention hervorgeht.

5. In voller Produktion stehende Hennen im 3. Legemonat retinierten aus Rationen, die 2,02 (Gruppe I), 3,03 (Gruppe II) bzw. 4,05 % Ca (Gruppe III) enthielten, im Mittel 74,2 % = 1,63 g (I)/ 59,6 % = 1,80 g (II) resp. 55,4 % = 2,10 g (III) des mit der 10 1/2 stündigen Probemahlzeit aufgenommenen signierten Calciums.

6. Bei Wiederholung dieses Experimentes 7 Monate später (10. Legemonat) waren die Ca-Einnahme der Tiere - bei gleicher Fütterungsdauer mit der markierten Mahlzeit - um durchschnittlich 33 % (I)/ 16 % (II) bzw. 15 % (III) erniedrigt und die monatliche Legeleistung um etwa 17 % (I)/ 12 % (II) bzw. 18 % (III) zurückgegangen. Die Hennen wiesen mit durchschnittlich 64,3 % = 0,95 g (I)/ 41,7 % = 1,05 g (II) resp. 27,2 % = 0,78 g (III) eine niedrigere Ca-Retention als im vorangegangenen Versuch auf.

7. Bei den produzierenden Hennen wurde neben der Ca-Retention der prozentuale Anteil des markierten Calciums am Eischalengesamt-Ca ermittelt. In beiden Versuchen betrug der Ca^{47}-Anteil in der Schale der bis zur 8. Stunde nach Beginn der signierten Fütterung gelegten Eier weniger als 10 %. Bei den Eiern, die in der 25. - 32. Stunde nach Beginn der markierten Mahlzeit zur Ablage kamen, stammten bei den jungen Legern 61,1 % = 1,00 g (I)/ 63,8 % = 1,14 g (II) bzw. 69,5 % = 1,16 g (III) des Schalengesamt-Ca aus der signierten Probemahlzeit; bei den alten Hennen dagegen war der Ca^{47}-markierte Anteil mit 32,9 % = 0,54 g (I)/ 36,0 % = 0,66 g (II) resp. 30,2 % = 0,58 g (III) nur etwa halb so hoch. In beiden Versuchen enthielten die Schalen der Eier, die weitere 24 Stunden später gelegt wurden, nurmehr 3,5 - 8,8 % markiertes Calcium.

8. In 4 weiteren Versuchsperioden - die Hennen befanden sich im 6., 7., 9. bzw. 10. Legemonat - prüften wir den Einfluß der verschiedenen Ca-Konzentrationen im Futter auf die Eischalenstabilitätsmerkmale Bruchfestigkeit und Schalentrockengewicht sowie auf die Legeleistung der Tiere. Dabei wurde evident, daß die Eischalen in Gruppe II (3,03 % Ca in der Ration) verglichen mit denen in Gruppe I (2,06 % Ca in der Ration) eine 13 % (Periode 1), 18 % (Periode 2), 22 % (Periode 3) bzw. 30 % (Periode 4) bessere Bruchfestigkeit aufwiesen ($p<0,001$). Die Hennen mit der höchsten Ca-Dosierung im Futter (Gruppe III mit 4,08 % Ca) zeigten - ausgenommen Periode 2 - eine signifikant schlechtere ($p<0,01$) Schalen-

bruchfestigkeit als diejenigen der Gruppe II (3,03 % Ca).
Bei 4,08 % Ca in der Ration war das Schalentrockengewicht signifikant höher ($p<0,001$) als bei einer Ca-Dosierung von 2,06 %.
Die Tiere der Gruppe II (3,03 % Ca in der Ration) hatten in allen Versuchsperioden die beste Leigeleistung.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

1. BLOOM, W., BLOOM, M. A., and F. C. MC LEAN:
Calcification and ossification. The formation of medullary bone in male and castrate pigeons under the influence of sex hormones.
Anat. Rec., Philadelphia, 83, 99 (1942)

2. BRONSCH, K., K. LÖRCHER und B. STALDER:
Zum Calciumstoffwechsel des Geflügels.
1. Mitteilung.
Die Retention von markiertem Nahrungscalcium bei Jung- und Legehennen.
Zbl. Vet. Med., Reihe A, 14, 105 (1967)

3. BRONSCH, K., K. LÖRCHER und A. KEHRER:
Zum Calciumstoffwechsel des Geflügels.
2. Mitteilung.
Über die Resorption von Nahrungscalcium und die endogene Ca-Ausscheidung bei Legehennen.
Z. Tierphysiol., Tierernährung u. Futtermittelkunde, 22, 349 (1967)

4. DIAMANTSTEIN, T.: Beiträge zur Biochemie der Eischalenverkalkung.
Habilitationsschrift, Berlin 1965

5. GÜNTHER, K. und W. LENKEIT:
Langfristige Untersuchungen über den Calcium-, Phosphor- und Magnesiumumsatz der Legehenne.
Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde., 19, 265 (1964)

6. HARMS, R. H., and P. W. WALDROUP:
The influence of dietary calcium level and supplementary ascorbic acid and/ or dienestrol diacetate upon performance of egg produktion type hens.
Poultry Sci., 40, 1345 (1961)

7. HARMS, R. H.: Minerals for laying hens.
Feedstuffs, 37, Nr. 25, 18 (1965)

8. HERTELENDY, F., and T. G. TAYLER:
Changes in blood calcium associated with egg shell calcification in the domestic fowl.
1. Changes in the total calcium.
Poultry Sci., 40, 108 (1961)

9. HURWITZ, S., and P. GRIMINGER:

Observations on the calcium balance of laying hens.
J. Agr. Sci., 54, 373 (1960)

10. HURWITZ, S., and P. GRIMINGER:

Partition of calcium and phosphorus excretion in the laying hen.
Nature, 189, 759 (1961)

11. HURWITZ, S.: Bone composition and Ca^{45} retention in fowl as influenced by egg formation.
Am. J. Physiol., 206, 198 (1964)

12. HURWITZ, S., and A. BAR:

Absorption of calcium and phosphorus along the gastrointestinal tract of the laying fowl as influenced by dietary calcium and egg shell formation.
J. Nutrition, 86, 433 (1965)

13. HURWITZ, S., and A. BAR:

Calcium depletion and repletion in laying hens.
1. Effect on calcium in various bone segments, in egg shell and in blood plasma, and on calcium balance.
Poultry Sci., 45, 345 (1966)

14. KEHRER, A.: Über die Resorption von Nahrungs-Calcium und den Calcium-Austausch im Skelett bei Legehennen.
Vet. med. Diss., Berlin 1966

15. KYES, P., and T. S. POTTER:

Physiological marrow ossification in female pigeons.
Anat. Rec., Philadelphia, 60, 377 (1934)

16. LÖRCHER, K. und K. BRONSCH:

Zum Calciumstoffwechsel des Geflügels
3. Mitteilung.
Der Einbau von markiertem Nahrungscalcium in die Eischale.
Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde., 23, 1 (1967)

17. MORGAN, C. L., and J. H. MITCHELL:

The calcium and phosphorus balance of laying hens.
Poultry Sci., 17, 99 (1938)

18. MUELLER, W. J., SCHRAER, R., and H. SCHRAER:
Calcium metabolism and skeletal dynamics of laying pullets.
J. Nutrition, 84, 20 (1964)

19. RAUCH, W.: Vergleichende Untersuchungen zur Qualitätsprüfung von Frischeiern.
Arch. f. Geflügelk., 22, 74 (1958)

20. RAUCH, W.: Technologische Eiqualitätsmerkmale,
Proc. 1st Europ.
Poult. Conf., Utrecht, 17, (1960)

21. SCHMIDT, W.: Anlage und statistische Auswertung von Untersuchungen.
Verlag M. & H. Schaper, Hannover 1961

22. STRINGER, D. A.: The Chemistry and Physiology of Bone with Special Reference to Medullary bone in the fowl (Gallus domesticus L.).
Ph. D. Th., University of Reading, 1962

23. STURKIE, P. D., and H. J. NEWMAN:
Plasma proteins of chickens as influenced by time of laying, ovulation, number of blood samples taken and plasma volume.
Poultry Sci., 30, 240 (1951)

24. TAYLOR, T. G., and J. H. MOORE:
The effect of calcium depletion on the chemical composition of bone minerals in laying hens.
Brit. J. Nutrition, 10, 250 (1956)

25. TAYLOR, T. G.: Calcium absorption and metabolism in the laying hen.
In: MORGAN, J. T., and D. LEWIS, Nutrition of Pigs and Poultry, Butterworths, London, 148 (1961)

26. TAYLOR, T. G., and J. KIRKLEY:
The absorption and excretion of minerals by laying hens in relation to egg shell formation.
Brit. Poult. Sci, 8, 289 (1967)

Herrn Professor Dr. Kurt BRONSCH darf ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und die freundliche Anteilnahme am Fortgang meiner Arbeit danken.

In gleicher Weise bin ich Herrn Oberassistent Dr. Konrad LÖRCHER Dank schuldig für die großzügige Förderung meiner Dissertation und sein Entgegenkommen bei der fachlichen Beratung.

Nicht vergessen möchte ich, hier auch den anderen Mitarbeitern des Instituts - insbesondere Frau Inge GROSSER - für ihre jederzeit gewährte Hilfe herzlich zu danken.

Lebenslauf

Am 17. September 1940 wurde ich als Sohn des prakt. Tierarztes Dr. Werner Villwock und seiner Frau Annemarie, geb. Rautmann, in Halle/ Saale geboren.

Nach Kriegsende verzog unsere Familie nach Altenwalde/ Niederelbe. Dort besuchte ich die Grundschule und anschließend das Gymnasium für Jungen in Cuxhaven, an dem ich 1962 die Reifeprüfung ablegte.

Ab Sommersemester 1962 studierte ich an der veterinärmedizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin. Das zweite und dritte Semester absolvierte ich an der Justus-Liebig-Universität in Gießen. Mit dem Staatsexamen in Berlin beendete ich im März 1968 das Studium.

Im Januar 1969 erhielt ich die Approbation als Tierarzt.

Ab März 1965 bin ich im Institut für Tierzucht und Tierernährung der Freien Universität Berlin als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.